

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
30 juin 2005 (30.06.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2005/059651 A2**

(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> : **G03F 1/14**

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2004/050698

(22) Date de dépôt international :  
15 décembre 2004 (15.12.2004)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
0351067 16 décembre 2003 (16.12.2003) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **COM-  
MISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE** [FR/FR];  
31-33 rue, de la fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **PAIN, Lau-  
rent** [FR/FR]; Le Mas de Clermont, F-38500 Saint Nicolas  
de Macherin (FR).

(74) Mandataire : **LEHU, Jean**; BREVATOME, 3, rue du  
Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de  
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,  
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,  
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,  
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,  
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,  
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,  
PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN,  
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,  
GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM),  
européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI,  
FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO,  
SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,  
GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

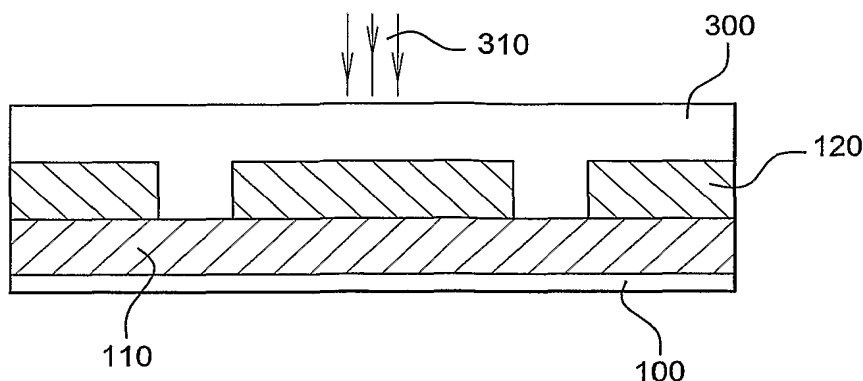
**Publiée :**

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée  
dès réception de ce rapport

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abrégia-  
tions, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et  
abrégiactions" figurant au début de chaque numéro ordinaire de  
la Gazette du PCT.

(54) Title: METHOD FOR REPAIRING ERRORS OF PATTERNS EMBODIED IN THIN LAYERS

(54) Titre : PROCEDE DE REPARATION D'ERREURS DE MOTIFS REALISES DANS DES COUCHES MINCES



(57) Abstract: The invention relates to methods for producing, for example thin-layer integrated circuits or MEMS. Said invention also relates to a correction method which makes it possible to repair errors of drawings produced for example by photolithography in a thin layer without necessarily using a new mask or correcting an erroneous mask. A lithographic device for carrying out certain steps of the inventive method is also disclosed.

(57) Abrégé : L'invention se rapporte

au domaine des procédés de fabrication en couche minces par exemple de circuits intégrés électroniques ou de MEMS. Elle concerne un procédé de correction permettant de réparer des erreurs de dessin réalisées par exemple par photolithographie dans une couche mince et ce, sans avoir nécessairement à utiliser un nouveau masque ou sans avoir à corriger un masque erroné. L'invention comprend également un dispositif de lithographie permettant de mettre en oeuvre certaines des étapes d'un tel procédé.

WO 2005/059651 A2

**PROCEDE DE REPARATION D'ERREURS DE MOTIFS REALISES DANS  
DES COUCHES MINCES.**

**DESCRIPTION**

**5    DOMAINE TECHNIQUE**

L'invention se rapporte au domaine des procédés de fabrication en couche minces par exemple de circuits intégrés électroniques ou de MEMS (MEMS pour microsystemes électromécaniques) et plus  
10 particulièrement à celui de la réalisation de motifs sur des couches minces. L'invention peut par exemple s'appliquer à la réalisation de masques pour la lithographie tels que par exemple les masques pour la photolithographie à ultraviolet extrême. Elle propose  
15 une méthode permettant de réparer un dessin erroné réalisé dans une couche mince gravée.

**ETAT DE LA TECHNIQUE ANTERIEURE**

La fabrication d'un circuit intégré en couches minces implique généralement la formation de  
20 motifs dans ces couches minces.

La réalisation d'un ou plusieurs motifs dans une couche mince fait appel le plus souvent à un procédé de photolithographie au cours duquel on emploie généralement un masque comportant un dessin  
25 reproduisant, généralement à une plus grande échelle, les motifs que l'on souhaite former dans la couche mince.

Toute erreur sur le dessin du masque, par exemple si un ou plusieurs motifs du masque sont en

excédent ou manquants, peut se traduire directement par le non fonctionnement du circuit intégré. Cette erreur ou ces erreurs de dessin peut ou peuvent provenir du concepteur du dessin ou bien de défauts générés sur le masque lors de sa fabrication.

Dans le cas d'une erreur de conception du dessin du masque, il peut s'avérer nécessaire à la fois de produire un nouveau dessin puis de fabriquer un nouveau masque. Dans le cas de défauts de fabrication du masque, la fabrication d'un nouveau masque peut s'avérer nécessaire. Dans les deux cas, ces erreurs peuvent augmenter de manière importante le coût ainsi que les délais de fabrication du circuit intégré.

Il existe à ce jour des techniques permettant de réparer directement au niveau du masque des erreurs de dessin, telles que celles décrites dans les documents [1], [2], [3], référencés à la fin de la présente description.

Les pertes en termes d'argent et de temps qu'impliquent des erreurs de dessin, faites sur un ou plusieurs lots de circuits intégrés en cours de fabrication, restent cependant importantes même lorsqu'on effectue une réparation directement au niveau du masque.

En effet, les techniques consistant à effectuer une réparation au niveau du masque ne permettent généralement pas de réparer des lots erronés. D'autre part, pendant la réparation du masque d'autres lots en cours de fabrication et nécessitant l'emploi dudit masque peuvent se retrouver bloqués dans leur cycle fabrication.

**EXPOSÉ DE L'INVENTION**

La présente invention concerne un procédé permettant de corriger des dessins erronés dans une couche mince réalisés, par exemple par  
5 photolithographie, à l'aide d'un masque comportant un défaut de fabrication ou/et un défaut de conception.

La couche mince peut être par exemple une couche d'un dispositif microélectronique en cours de réalisation, par exemple un MEMS en cours de  
10 réalisation (MEMS pour microsystèmes électromécaniques) ou un circuit intégré en cours de réalisation.

L'invention propose une solution simple, pour permettre de réduire des pertes de temps et des coûts induits par de telles erreurs de dessin faites  
15 sur des couches minces de dispositifs microélectroniques.

Contrairement aux techniques antérieures, l'invention permet par ailleurs de réutiliser des circuits intégrés en cours de fabrication comportant  
20 des erreurs de dessin.

L'invention concerne d'abord un procédé de correction d'un dessin formé dans une première couche mince, comprenant au moins une première sous couche gravée ou partiellement gravée comportant ledit dessin  
25 erroné, par exemple une sous-couche sacrificielle ou de masque dur, et au moins une deuxième sous-couche située entre le substrat et la première sous-couche, comportant les étapes de :

a) dépôt d'une seconde couche mince sur  
30 ladite première couche mince ou sur l'ensemble de la première couche mince,

b) gravure, ou lithographie, dans ladite seconde couche mince, en fonction de la correction ou des corrections souhaitée(s),

c) gravure ou gravure au moins partielle de  
5 la deuxième sous-couche à travers la première sous-couche.

On entend par dessin, un ensemble de motifs par exemple sous forme d'un ou plusieurs trous ou/et une ou plusieurs tranchées.

10 Dans la seconde couche mince, on forme donc, par lithographie, à l'aide d'un faisceau, ou de plusieurs faisceaux, un ou plusieurs éléments correctifs permettant la correction du dessin erroné.

Ensuite, on effectue la gravure de la  
15 deuxième sous-couche à travers la première sous-couche.

Une erreur de dessin dans la première couche mince peut être due à un ou plusieurs motifs manquants sur le dessin.

Dans ce cas, l'invention permet d'ajouter,  
20 un ou plusieurs motifs manquants. Cet ajout comporte la reproduction par l'étape b), des motifs manquants dans la seconde couche mince.

Selon une possibilité, à l'étape b) plusieurs éléments correctifs ou tous les correctifs  
25 peuvent être réalisés en même temps.

Par gravure on peut ensuite transférer, dans la première sous-couche, les motifs ajoutés dans la seconde couche mince.

La première sous-couche peut être gravée  
30 après l'étape b) et avant l'étape c), et la seconde

couche mince peut être retirée après cette étape de gravure supplémentaire.

Ainsi, une fois que l'ajout de motifs a été réalisé dans la première sous-couche, celle-ci permet  
5 de reproduire les motifs dans la deuxième sous-couche, et la première sous-couche peut alors être retirée.

Une erreur de dessin dans la première couche mince peut être due à un ou plusieurs motifs en excédent sur le dessin. Dans ce cas, le procédé suivant  
10 l'invention permet la suppression d'un ou de plusieurs motifs en excédent, l'étape b) permettant de former des blocs de correction comblant ces motifs en excédent.

Selon une possibilité, à l'étape b) plusieurs blocs de correction ou tous les blocs de  
15 correction peuvent être réalisés en même temps.

Une erreur de dessin dans une couche mince peut être due à un ou plusieurs motifs manquants sur le dessin et à un ou plusieurs autres motifs en excédent sur le dessin. L'invention permet également d'ajouter  
20 un ou plusieurs motifs manquant(s), puis de supprimer un ou plusieurs motifs en excédent.

Le procédé selon l'invention peut alors comporter, après l'étape b) et avant l'étape c) :

- un retrait de la deuxième couche mince,  
25 un dépôt d'une troisième couche mince sur la première sous-couche, une seconde étape de gravure ou de lithographie dans la troisième couche mince laissant des blocs comblant les motifs en excédent,

- ou, alternativement, une gravure ou une  
30 lithographie, par exemple à écriture directe, à nouveau

dans la seconde couche mince, et laissant des blocs comblant les motifs en excédent.

Dans l'un ou l'autre cas, on pourra, après l'étape c), retirer soit la troisième couche mince,  
5 soit la première sous-couche.

Les deux sous-couches constituant la première couche mince peuvent être réalisées à base de deux matériaux différents, chacun de ces deux matériaux pouvant être conducteur, semi-conducteur ou isolant.

10 L'invention concerne également un procédé de correction d'un dessin erroné réalisé dans une première couche mince au moins partiellement gravée, comportant les étapes de :

a) dépôt d'une seconde couche mince sur  
15 ladite première couche mince

b) gravure directe, ou lithographie à écriture directe, dans ladite seconde couche mince, en fonction de la correction souhaitée,

c) gravure de la première couche à travers  
20 la deuxième couche.

L'étape b) peut comporter la reproduction dans la seconde couche mince des motifs manquants, la seconde couche mince pouvant être retirée après l'étape c).

25 La seconde et/ou la troisième couche mince peut être par exemple une couche diélectrique ou une couche de résine éventuellement photosensible et à tonalité positive ou négative que l'on dépose sur la première couche mince.

30 Les étapes de gravure peuvent être réalisées grâce à un ou plusieurs faisceau(x)

optique(s) ou à un ou plusieurs faisceau(x) de particules. Le faisceau peut être de rayons X, ou un faisceau laser, ou un faisceau de protons, ou un faisceau d'ions, ou un faisceau d'électrons.

5                   Selon une variante de mise en oeuvre, les étapes de gravure et notamment l'étape b) peuvent être réalisées grâce à plusieurs faisceaux optiques ou de particules simultanés.

10                   Un tel faisceau ou de tels faisceaux peut ou peuvent être piloté(s) à l'aide d'un dispositif numérique dispositif ou de traitement numérique comportant des données de correction, préparées en fonction des corrections à effectuer.

15                   Cette préparation peut être effectuée par comparaison entre des données de dessin ou un fichier de dessin erroné, et des données de dessin ou un fichier de dessin exact.

20                   L'invention peut permettre de corriger ces dessins, sans nécessairement devoir utiliser de nouveau masque ni avoir besoin de corriger le masque défectueux.

25                   Ainsi, l'invention concerne également un procédé de correction d'un dessin formé dans une première couche mince, comprenant au moins une première sous couche gravée ou partiellement gravée comportant ledit dessin erroné, par exemple une sous-couche sacrificielle ou de masque dur, et au moins une deuxième sous-couche située entre le substrat et la première sous-couche, comportant les étapes de :

30                   a) dépôt d'une seconde couche mince sur ladite première couche mince,



b) gravure directe, ou lithographie à écriture directe, dans ladite seconde couche mince, en fonction de la correction ou des corrections souhaitée,

c) gravure ou gravure au moins partielle de  
5 la deuxième sous-couche à travers la première sous-couche.

L'invention concerne également un dispositif de lithographie apte à effectuer l'étape b) du procédé suivant l'invention. Ce dispositif peut  
10 comprendre :

- un appareil de lithographie ou des premiers moyens apte(s) à produire au moins un faisceau de lithographie,
- des seconds moyens pour traiter des  
15 données relatives au dessin erroné et à un dessin corrigé souhaité, et pour produire suite à ce traitement, des données de correction,
- des troisièmes moyens pour piloter l'appareil de lithographie, à partir des données de  
20 correction.

L'invention met également en œuvre un programme d'ordinateur comprenant des instructions de code de programme enregistrable dans cet ordinateur pour traiter des données relatives à un dessin erroné  
25 réalisé dans une couche mince et des données relatives à un dessin corrigé souhaité, et pour produire suite à ce traitement, des données de correction exploitables par un appareil de lithographie ou par des moyens apte(s) à produire au moins un faisceau optiques ou de  
30 particules pour la lithographie.

L'invention met également en œuvre un produit programme d'ordinateur comprenant des instructions de code d'un tel programme enregistré sur un support utilisable dans un ordinateur, ainsi qu'un support de données numériques utilisables par un ordinateur, comprenant des instructions de code d'un tel programme.

#### BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels:

- les figures 1A-1B représentent une couche de matériau dans laquelle on souhaite réaliser des motifs,
- les figures 2, 4, 6 et 8 représentent une couche de matériau dans laquelle un motif en excédant ou manquant est réalisé,
- les figures 3A-3F, illustrent un exemple de procédé suivant l'invention permettant la correction par ajouts de motifs,
- les figures 5A-5B, illustrent un autre exemple de procédé suivant l'invention permettant la correction par ajouts de motifs,
- les figures 7A-7C, illustrent un exemple de procédé suivant l'invention permettant la correction par suppressions de motifs,

- les figures 9A-9D, illustrent un exemple de procédé suivant l'invention permettant la correction par ajouts puis suppressions de motifs.

- la figure 10, illustre un exemple de  
5 dispositif suivant l'invention.

Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

10 Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

15 La figure 1A illustre une couche mince vue de dessus dans laquelle on souhaite réaliser des motifs notés  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , sous forme de motifs en creux (dont les contours sont représentés en traits discontinus sur cette figure), par exemple de trous d'interconnexion,  
20 ou de tranchées susceptibles d'être remplies par la suite, par un matériau semi-conducteur, ou conducteur ou diélectrique. Cette couche mince sera nommée couche technologique et notée 110. Elle repose sur un substrat, par exemple un substrat en silicium (non  
25 représenté sur la figure 1A). L'ensemble des motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , formera un dessin D.

La couche technologique 110 peut être de nature organique ou minérale, elle peut être conductrice ou semi-conductrice ou isolante et peut

avoir une épaisseur comprise par exemple entre 1 nanomètre et 10 micromètres.

Cette couche mince 110 peut être une couche d'un dispositif microélectronique, par exemple un circuit intégré, en cours de réalisation.

La couche technologique 110 illustrée sur la figure 1A, est par exemple une couche à base de TeOS de 600 nanomètres d'épaisseur.

La figure 1B illustre une vue en coupe de cette même couche technologique 110 reposant sur le substrat 100. Les motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , que l'on souhaite réaliser sous forme de motifs en creux dans la couche technologique 110 sont également délimités par des contours en traits discontinus.

Pour réaliser les motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , dans la couche technologique 110, une première méthode consiste par exemple à former tout d'abord ces motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , par photolithographie dans une couche que l'on appellera couche sacrificielle, déposée préalablement sur la couche technologique. Ensuite, il s'agit de transférer les motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , dans la couche technologique 110 par exemple par gravure de cette dernière à travers la couche sacrificielle.

La figure 2 illustre la couche technologique 110 reposant sur le substrat 100 et recouverte en outre par une couche sacrificielle 120 ajourée dans laquelle on a voulu former lesdits motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , par un procédé de photolithographie faisant appel à un masque.

La couche sacrificielle peut être de nature organique ou minérale, elle peut être conductrice ou

semi-conductrice ou isolante et peut avoir une épaisseur comprise par exemple entre 1 nanomètre et 10 micromètres. La couche sacrificielle 120 illustrée sur la figure 2 est par exemple une couche à base de TiN de  
5 50 nanomètres d'épaisseur.

Suite audit procédé de photolithographie, la couche sacrificielle 120 illustrée sur la figure 2 est gravée selon un dessin erroné noté D' différent du dessin D que l'on souhaitait réaliser et auquel manque  
10 le motif  $M_2$ . Le dessin erroné D' peut provenir d'un masque, utilisé lors du procédé de photolithographie et qui comportait lui-même des défauts.

Ainsi, le motif  $M_2$  manque dans la couche sacrificielle 120, à un emplacement 200 (délimité par  
15 des traits discontinus sur la figure 2).

Un premier exemple de procédé suivant l'invention est illustré aux figures 3A-3F. Il permet de corriger le dessin erroné D' auquel manque un motif.

Lors d'une première étape de ce procédé  
20 illustrée sur la figure 3A, on dépose, sur la couche sacrificielle 120 ou sur l'ensemble de la couche sacrificielle 120, une couche 300 par exemple à base de résine ou de polymère. Cette couche 300 peut être sensible à un rayonnement par exemple électronique,  
25 ionique ou photonique. La couche 300 peut être par exemple une couche de résine, par exemple à tonalité positive telle qu'une résine TiS193UL<sup>®</sup> de la société Archechemical, ou une résine NOVOLAC<sup>®</sup>, ou une résine PHS<sup>®</sup>. Selon une variante, la couche 300 peut également  
30 formée d'un empilement de plusieurs sous-couches, par exemple d'une première sous-couche à base de résine non

photosensible surmontée d'une deuxième sous-couche sensible à un rayonnement par exemple électronique, ionique ou photonique.

Ensuite, on effectue une étape de lithographie de cette couche 300, en fonction du dessin erroné D'. Cette étape de lithographie permet de former un élément correctif C<sub>1</sub> dans la couche 300. L'élément correctif C<sub>1</sub> sera réalisé dans la couche 300, après révélation, et prendra dans ce cas, une forme identique au motif M<sub>2</sub> manquant dans la couche sacrificielle 120.

Selon une possibilité de mise en œuvre du procédé, la lithographie de la couche 300, peut être réalisée par lithographie à écriture directe, sans avoir à utiliser de masque intermédiaire. Ainsi, le procédé peut permettre d'ajouter le motif manquant dans la couche sacrificielle sans nécessairement devoir employer un nouveau masque.

L'élément correctif C<sub>1</sub> peut être formé et placé sur la couche de résine 300, en fonction à la fois du dessin erroné D' dans la couche sacrificielle 120 et du dessin D original. En effet, la lithographie peut être réalisée par exemple par un dispositif de lithographie ou de photolithographie (figure 10), dans lequel un appareil de lithographie ou de photolithographie 550 utilise un fichier informatique lui indiquant des informations concernant la forme ainsi que l'emplacement de l'élément correctif à réaliser. Le fichier peut être issu, par exemple, d'une base de données ou d'un support de données provenant d'un dispositif de traitement informatique 500 tel qu'un ordinateur ou une station de travail et peut

résulter d'un traitement, effectué par cet ordinateur ou cette station de travail, dans lequel une comparaison entre le dessin D original et le dessin erroné D' est effectué.

5           La lithographie peut être réalisée grâce à au moins un faisceau 310, de particules ou optique, au moyen duquel on expose certaines parties de la couche de résine 300 pour réaliser l'élément correctif  $C_1$ .

10           Le faisceau 310 peut être par exemple un faisceau laser, ou un faisceau de rayons X, ou un faisceau d'électrons, ou un faisceau d'ions, ou un faisceau de protons.

15           Après exposition au faisceau 310 de la couche de résine 300, on développe cette dernière. Les parties de la couche de résine 300 exposées au faisceau 310 sont révélées et disparaissent pour former l'élément correctif  $C_1$  qui a une forme identique au motif  $M_2$  manquant dans la sous-couche sacrificielle 120 (figure 3B). La gravure directe définit des zones  
20           surmontées de parties de la couche 300 et d'autres zones ne comportant pas de parties de la couche 300.

25           Puis (figure 3C), on effectue le transfert de l'élément correctif  $C_1$  dans la couche sacrificielle 120. Le transfert peut être effectué par gravure chimique ou par bombardement de particules, par exemple une gravure plasma ou une gravure chimique par voie humide de la couche sacrificielle 120 à travers la couche de résine 300. La couche sacrificielle 120 comporte alors le motif  $C_1$ . Ce motif correspond au  
30           motif  $M_2$  que l'on souhaitait ajouter dans la couche sacrificielle.

Ensuite, on retire la couche de résine 300. La couche sacrificielle comprend alors les motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , et par conséquent le dessin D (figure 3D).

Puis, par gravure, par exemple par gravure chimique ou plasma de la couche technologique 110 à travers la couche sacrificielle 120, on transfère les motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , dans la couche technologique 110 (figure 3E).

On retire enfin la couche sacrificielle 120 (figure 3F). Le retrait de la couche sacrificielle 120 peut être effectué par gravure sèche, par exemple à l'aide d'un plasma à base d'un gaz réactif à cette couche 120. Il peut être effectué également effectué par gravure humide par exemple à l'aide d'une solution à base de  $H_2O_2$  et de  $H_2SO_4$  dans le cas où la couche sacrificielle 120 est de nature organique. Eventuellement, le retrait peut également, être effectué par une combinaison d'une gravure chimique humide suivie d'une gravure plasma.

Le procédé suivant l'invention n'est pas limité à la correction ou à l'ajout d'un seul motif : Il permet d'ajouter autant de motifs que nécessaire à une couche mince gravée selon un dessin erroné, par exemple suite à un procédé de photolithographie.

Le procédé ci-dessus s'applique au cas où une couche sacrificielle est utilisée au dessus de la couche technologique.

Mais, pour réaliser des motifs tels que les motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , illustrés sur la figure 1A et 1B dans une couche mince telle que la couche technologique 110, une méthode consiste à former ces motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ , par



photolithographie, directement dans cette couche technologique 110 et sans utiliser de couche sacrificielle intermédiaire.

La figure 4 illustre cette couche  
5 technologique 110 ajourée, par exemple par photolithographie, ayant nécessitée l'emploi d'un masque, et grâce à laquelle on a voulu former lesdits motifs  $M_1$ ,  $M_2$ ,  $M_3$ .

Une erreur, par exemple, de conception ou  
10 de fabrication du masque utilisé lors du procédé de photolithographie a entraîné la formation d'un dessin erroné  $D'$  directement dans la couche technologique 110, différent du dessin  $D$  que l'on souhaitait réaliser.

Ainsi, le motif  $M_2$  est manquant dans la  
15 couche technologique 110, l'emplacement de ce motif  $M_2$  manquant étant indiqué par des hachures et par la référence 400 sur la figure 4.

Un second exemple de procédé suivant  
l'invention est illustré sur les figures 5A-5B, et  
20 permet de corriger le dessin erroné  $D'$ , réalisé dans la couche technologique et auquel manque un motif.

Cet exemple de procédé suivant l'invention permet ainsi d'ajouter le motif manquant dans la couche technologique sans employer de nouveau masque.

25 Lors d'une première étape de ce procédé, on dépose une couche de résine 300 par exemple une couche de résine photosensible à tonalité positive sur la couche technologique 110.

Ensuite, on effectue une lithographie de la  
30 couche de résine 300. Cette lithographie peut être par exemple de type dit « à écriture directe »,

c'est-à-dire sans utiliser de masque intermédiaire. La lithographie est réalisée en fonction du dessin erroné D' dans la couche technologique 110 et du dessin D souhaité dans cette même couche. Elle permet de  
5 réaliser au moins un élément correctif  $C_1$  dans la couche de résine 300. Dans cet exemple, l'élément correctif est identique au motif  $M_2$  manquant sur le dessin D'.

La lithographie peut être effectuée par au  
10 un faisceau ou au moins un faisceau, de particules ou optique, au moyen duquel on expose certaines parties de la couche de résine 300 pour former l'élément correctif  $C_1$ . Le faisceau peut être par exemple un faisceau laser, ou un faisceau de rayons X, ou un faisceau  
15 d'électrons ou un faisceau d'ions ou encore un faisceau de protons.

Après exposition de la couche de résine 300, on développe cette dernière. Les parties de la couche de résine 300 exposées au faisceau disparaissent  
20 pour produire, dans la couche technologique 110, l'élément ou motif correctif  $C_1$  ayant une forme identique au motif  $M_2$  (figure 5A).

Ensuite, on transfère l'élément correctif  $C_1$  dans la couche technologique 110 en effectuant une  
25 gravure, par exemple une gravure plasma ou une gravure chimique de cette dernière à travers la couche de résine 300. La couche technologique 110 comporte alors un motif en creux, qui correspond au motif  $M_2$  manquant que l'on souhaitait ajouter.

On retire ensuite la couche de résine 300. La couche technologique 110 comprend alors les motifs  $M_1$ ,  $M_2$ , et  $M_3$  formant le dessin D complet (figure 5B).

Le procédé suivant l'invention n'est pas limité à la correction d'un seul motif dans une couche mince comme dans l'exemple précédemment décrit. Il permet en effet d'ajouter autant de motifs que nécessaire dans une couche mince gravée et à laquelle manquent certains motifs.

La figure 6 illustre un substrat 600, par exemple en silicium et recouvert par une couche mince 610 que l'on nommera couche technologique dans laquelle on souhaite réaliser un motif  $M_4$  par exemple sous forme d'un creux, par exemple une tranchée illustrée par des contours en pointillés. La couche technologique 610 peut être de nature organique ou minérale, elle peut être conductrice ou semi-conductrice ou isolante. C'est par exemple une couche métallique à base de TiN ou par encore une couche diélectrique de faible constante diélectrique, ou encore une couche de polysilicium servant à la réalisation des grilles de transistors.

Pour réaliser le motif  $M_4$  dans la couche technologique 610, une première méthode peut consister à former tout d'abord ce motif  $M_4$  par photolithographie d'une couche 620, que l'on appellera couche sacrificielle, déposée sur la couche technologique 610.

Suite à une erreur, par exemple de conception ou de fabrication d'un masque utilisé lors dudit procédé de photolithographie, la couche sacrificielle 620 illustrée sur la figure 6 comporte le

motif  $M_4$  mais aussi plusieurs motif erroné  $M'_1$ ,  $M'_2$  en excédent, sous forme de trou(s) ou/et de tranchée(s).

L'exemple de procédé suivant l'invention illustré sur les figures 7A-7C, permet de corriger ces motifs  $M'_1$  et  $M'_2$  réalisés en excédent et de former  
5 uniquement le bon motif dans la couche technologique.

Lors d'une première étape, on dépose une couche de résine 700 sur l'ensemble de la couche sacrificielle 620 (figure 7A).

10 Ensuite, on effectue une étape de lithographie de la couche de résine 700. Selon une mode de réalisation du procédé, cette lithographie peut être à écriture directe, c'est-à-dire sans utiliser de masque intermédiaire.

15 La lithographie est réalisée en fonction du dessin erroné  $D'$  formé dans la couche sacrificielle 620. L'étape de lithographie permet de réaliser des éléments correctifs  $C_2$  et  $C_3$  dans la couche de résine 700. Ces éléments correctifs  $C_2$  et  $C_3$  prennent, dans ce  
20 cas, la forme de blocs de résine venant combler respectivement les motifs erroné  $M'_1$  et  $M'_2$  sous forme de trou ou de tranchée dans la couche sacrificielle 620.

La lithographie peut être réalisée grâce à  
25 un faisceau ou plusieurs faisceaux, éventuellement de plusieurs faisceaux simultanés, de particules ou optique(s), au moyen duquel ou desquels on expose certaines parties de la couche de résine 700 pour réaliser les éléments correctifs  $C_2$  et  $C_3$ .

Le ou les faisceaux peuvent être par exemple à base de rayons X ou d'électrons, ou de rayons UV.

Après exposition de la couche de résine 700, par le ou les faisceau(x) on développe cette dernière. Les parties de la couche de résine 300 exposées au faisceau 310 disparaissent. Il reste alors les éléments correctifs  $C_2$  et  $C_3$ , qui prennent la forme de blocs de résine, et qui viennent combler respectivement les motif  $M'_1$  et  $M'_2$  en excédent dans la sous-couche sacrificielle 620 (figure 7B).

On effectue ensuite (figure 7C) le transfert uniquement du motif  $M_4$  exact, par exemple par gravure, par exemple encore une gravure plasma ou une gravure chimique de la couche technologique 620 à travers la couche de sacrificielle 610.

Les motifs erronés  $M'_1$  et  $M'_2$  de la couche sacrificielle 610 étant comblés par les blocs de résine 700, seul le motif  $M_4$  est transféré dans la couche technologique 610. On retire ensuite la couche sacrificielle.

Le procédé suivant l'invention n'est pas limité à la correction de deux motifs comme dans l'exemple précédemment décrit : il permet en effet de supprimer autant de motifs en excédent que nécessaire.

La figure 8 illustre un substrat 800, par exemple en silicium, recouvert par une couche mince notée 810, que l'on nommera couche technologique et, dans laquelle on souhaite réaliser des motifs  $M_5$  et  $M_6$  qui prendront par exemple la forme de trous ou de

tranchées et qui sont illustrés sur la figure 8 par des contours en traits discontinus.

La couche technologique peut être conductrice ou semi-conductrice ou isolante et avoir une épaisseur comprise par exemple entre 1 nanomètre et 10 micromètres. La couche technologique 810 est par exemple une couche diélectrique de constante diélectrique faible (« low-k » selon la terminologie anglo-saxonne »).

Pour réaliser les motif  $M_5$  et  $M_6$  dans cette couche technologique 810, une méthode consiste à former tout d'abord ces motifs  $M_5$  et  $M_6$  par un procédé de photolithographie d'une autre couche mince notée 820, que l'on appellera couche sacrificielle, et qui est déposée sur la couche technologique 810. La couche sacrificielle 820 est par exemple une couche à base de nitrure ou d'oxyde de silicium.

Suite à une erreur, par exemple de conception ou de fabrication d'un masque utilisé lors dudit procédé de photolithographie, la couche sacrificielle 820 illustrée sur la figure 8 est gravée selon un dessin erroné comportant le motif  $M_5$  exact, mais auquel manque le motif  $M_6$ . Ce dessin erroné comporte en outre un motif erroné  $M'_3$  en excédent dans la couche sacrificielle 820 et qui prend par exemple la forme d'un trou ou d'une tranchée.

Un exemple de procédé suivant l'invention permettant de corriger un tel dessin réalisé dans une couche mince gravée telle que la couche sacrificielle 820, dans lequel certains motifs sont en excédent et

auquel certains motifs manquent va à présent être décrit. Il est illustré par les figures 9A-9C.

Lors d'une première étape de ce procédé, on dépose une première couche de résine 900 sur la couche sacrificielle 820. La couche de résine 900 peut être  
5 par exemple une résine photosensible à tonalité positive

Ensuite, on effectue une première étape de lithographie ou de photolithographie. Selon une  
10 possibilité, cette lithographie peut être à écriture directe de la couche de résine 900, c'est-à-dire sans utiliser de masque intermédiaire. Cette première étape de lithographie permet de former un premier élément correctif noté  $C_4$  dans la couche de résine 900 sous  
15 forme d'une lumière identique au motif  $M_6$  manquant.

La lithographie peut être réalisée grâce à un faisceau de particules ou un faisceau optique au moyen duquel on expose certaines parties de la couche de résine 900 pour former l'élément correctif  $C_4$ . Ledit  
20 faisceau peut être par exemple un faisceau de rayons X, un faisceau laser, un faisceau d'électrons, un faisceau d'ions, un faisceau de protons, ou un faisceau de rayons UV. Après exposition par le faisceau de la couche de résine 900, on développe cette dernière. Les  
25 parties de la couche de résine 900 exposées au faisceau disparaissent pour former l'élément correctif  $C_4$ .

Ensuite, on effectue une gravure de la couche sacrificielle 820 à travers la couche de résine 900. La gravure permet de transférer, dans la couche  
30 sacrificielle, l'élément correctif  $C_4$ . La couche

sacrificielle 820 comporte alors le motif  $M_6$  manquant sous forme de tranchée ou d'un trou (figure 9A).

Ensuite, on retire la première couche de résine 900 puis on dépose une seconde couche de résine 950 par exemple une couche de résine photosensible à tonalité négative.

Ensuite, on effectue une seconde étape de lithographie à écriture directe de la seconde couche de résine 950, sans utiliser de masque intermédiaire (figure 9C). Cette seconde étape de lithographie à écriture directe permet de préparer la formation d'un second élément correctif dans la couche de résine 950 sous forme d'un bloc de résine  $C_5$  venant combler le motif  $M'_3$  erroné qui a la forme d'un trou ou d'une tranchée en excédent dans la couche sacrificielle 820. La lithographie pour former l'élément correctif  $C_5$  peut être réalisée grâce, à un faisceau de particules ou optique, provenant du même appareil de lithographie que celui utilisé lors de la première étape de lithographie pour former l'élément correctif  $C_4$ . A l'aide de ce faisceau, on expose certaines parties de la couche de résine 950.

Après exposition par le faisceau de la couche de résine 950, on développe cette dernière. Les parties exposées au faisceau 310 de la couche de résine 950 disparaissent. L'élément correctif  $C_4$  sous forme d'un bloc de résine comblant le motif  $M'_2$  est ainsi réalisé.

Puis, on effectue une gravure de la couche technologique 820 à travers la couche de résine 950,



gravure au cours de laquelle on ne transfère que les motifs  $M_5$  et  $M_6$ .

Quelque soit le mode de réalisation décrit ci-dessus, les étapes de photolithographie peuvent être réalisées à l'aide d'un dispositif de lithographie mis en œuvre suivant l'invention, par pilotage d'une machine ou d'un appareil de lithographie 550 à l'aide de données dites « de correction » ou d'au moins un fichier informatique « de correction » permettant la correction souhaitée. Ces données de correction ou ce fichier de correction peuvent être générées par un dispositif de traitement informatique 500, tel que par exemple un ordinateur ou une station de travail.

Un exemple d'opérations logiques, réalisées par un processeur, par exemple, un microprocesseur, ou un processeur d'unité centrale du dispositif 500 permettant de réaliser de telles données ou un tel fichier va être présenté ci-dessous.

Il s'agit en fait d'établir un fichier informatique standard reproduisant les corrections à effectuer.

Pour obtenir les fichiers permettant les corrections d'addition et de soustraction, le dispositif de traitement informatique 500 peut comporter une section de calcul avec des composants électroniques ou logiciels ou autres permettant d'effectuer tous types d'opérations booléennes et également d'effectuer une mise en forme de données sous format directement utilisable par l'appareil de lithographie 550 permettant de produire le faisceau de gravure.

On part de deux fichiers, A et B, le fichier A correspondant au dessin erroné et le fichier B au dessin corrigé souhaité. Ces fichiers peuvent être stockés dans une mémoire, par exemple un disque dur, ou  
5 une mémoire morte ROM, ou un disque optique compact, ou une mémoire vive dynamique DRAM ou tout autre type de mémoire RAM, ou un élément de stockage magnétique ou optique, ou des registres ou d'autres mémoires volatiles et/ou non volatiles du dispositif 500.

10 Pour ce qui concerne les motifs à ajouter, un algorithme comportant une opération booléenne de soustraction, est effectuée entre les deux fichiers A et B, et a pour résultat de ne conserver, par exemple dans un nouveau fichier C<sub>1</sub>, que les motifs ajoutés dans  
15 le fichier B et qui n'étaient pas dans le fichier A erroné.

Le nouveau fichier C<sub>1</sub>, est transmis par le dispositif informatique 500 à l'appareil de lithographie 550, sous forme exploitable. L'appareil  
20 550 peut alors produire un ou plusieurs faisceau(x) de gravure et permet ainsi d'ajouter directement sur une couche mince reposant sur une plaquette, de manière sélective, un ou des motifs manquants.

Pour ce qui concerne les motifs en excédent, à retirer, l'opération booléenne de  
25 soustraction peut permettre cette fois ci de ne conserver que les motifs présents uniquement dans le fichier A et que l'on souhaite faire disparaître au final. Après ce traitement, une opération d'ajustement  
30 peut être effectuée afin de grandir les bords et d'assurer le recouvrement total du motif à faire

disparaître lors du traitement technologique : on s'affranchit ainsi des problèmes de désalignement potentiels induits par le procédé. La taille de l'ajustement dépend de l'environnement des autres motifs dans le dessin final et des performances d'alignement du procédé lithographique utilisé. Un nouveau fichier C<sub>2</sub>, résultat de ce traitement, est transmis par le dispositif informatique 500 à l'appareil de lithographie 550, sous forme exploitable.

10 Lorsque les motifs sont à ajouter et que d'autres motifs sont à supprimer, deux bases ou fichiers de données peuvent être préparées, discrétisant les deux opérations logiques pour obtenir une réparation globale.

15 Le dispositif informatique 550, va pouvoir mémoriser les données de correction établies de la manière indiquée ci-dessus, et piloter les moyens ou la machine de gravure 500 pour effectuer ces corrections.

20

#### Documents cités

- [1] : B. Ward et al., Proc. SPIE, vol. 537, 110-6, 1985.  
[2] : US 4,751,169  
25 [3] : EP 0 200 333.

## REVENDICATIONS

1. Procédé de correction d'un dessin erroné réalisé dans une première couche mince  
5 comprenant au moins une première sous-couche (120, 620, 820) gravée comportant ledit dessin erroné et au moins une deuxième sous-couche (110, 610, 810) située entre un substrat (100, 600, 800) et la première sous-couche, le procédé comportant les étapes de :
- 10 a) dépôt d'une seconde couche mince (300, 700, 900) sur ladite première couche mince  
b) gravure ou lithographie de ladite seconde couche mince, en fonction de la correction ou des corrections souhaitée(s),  
15 c) gravure de la deuxième sous-couche (110, 610, 810) à travers première sous-couche (120, 620, 820).
2. Procédé de correction selon la  
20 revendication 1, la correction consistant en un ajout d'un ou plusieurs motifs ( $M_2$ ).
3. Procédé de correction selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel un ou plusieurs  
25 motifs ( $M_2$ ) manquent audit dessin, l'étape de lithographie comprenant la reproduction dans ladite seconde couche mince (300, 900) des motifs manquant.
4. Procédé de correction selon l'une des  
30 revendications 1 à 3, comprenant en outre la gravure de la première sous-couche (120) à travers la seconde

couche mince (300) après l'étape b) et préalablement à l'étape c).

5. Procédé de correction selon la  
5 revendication 4, comprenant en outre le retrait de la seconde couche mince (300) après l'étape de gravure de la première sous-couche (120) à travers la seconde couche mince (300) et préalablement à l'étape c).

10 6. Procédé de correction selon la revendication 1, la correction consistant en un retrait d'un ou plusieurs motifs ( $M'_1$ ).

7. Procédé de correction selon la  
15 revendication 6, dans lequel un ou plusieurs motifs ( $M'_1$ ) sont en excédent, l'étape de lithographie dans ladite seconde couche mince (700) laissant un ou plusieurs blocs ( $C_2$ ) comblant lesdits motifs en excédent.

20 8. Procédé de correction selon la revendication 1, la correction consistant à un ajout d'un ou plusieurs motifs manquants ( $M_6$ ) puis à une suppression d'un ou plusieurs autres motifs en excédent  
25 ( $M'_2$ ).

9. Procédé de correction selon la revendication 8, comprenant, après l'étape b) et préalablement à l'étape c), les étapes de :

30 - gravure de la première sous-couche (820) à travers la seconde couche mince (900),

- retrait de la seconde couche mince (900),  
- dépôt d'une troisième couche mince (950)  
sur la première sous-couche (820),  
- seconde lithographie dans ladite  
5 troisième couche mince (950) laissant des blocs  
comblant (C<sub>4</sub>) lesdits motifs en excédent.

10. Procédé selon la revendication 9, la  
troisième couche mince (950) étant une couche  
10 diélectrique.

11. Procédé selon la revendication 10, la  
troisième couche mince (950) étant une couche de résine  
ou de polymère.

15 12. Procédé selon l'une des revendications  
9 à 11, la troisième couche mince (950) étant une  
couche de résine photosensible à tonalité positive ou  
négative.

20 13. Procédé selon l'une des revendications  
9 à 12, comprenant le retrait de la troisième couche  
mince (950) après l'étape c).

25 14. Procédé de correction selon l'une des  
revendications 1 à 13, comprenant en outre le retrait  
de la première sous-couche (820) après l'étape c) de  
gravure de la deuxième sous-couche (810) à travers  
première sous-couche.

30

15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, dans lequel la première sous-couche (120, 620, 820) est à base d'un premier matériau conducteur, ou semi-conducteur, ou isolant et la deuxième sous-couche (110, 610, 810) située entre le substrat (100, 600, 800) et la première sous-couche est à base d'un second matériau conducteur, ou semi-conducteur ou isolant différent du premier matériau.

16. Procédé selon l'une des revendications 1 à 15, dans lequel la première sous-couche (120, 620, 820) est une couche sacrificielle.

17. Procédé de correction d'un dessin erroné réalisé dans une première couche mince (110) au moins partiellement gravée, comportant les étapes de :

- a) dépôt d'une seconde couche mince (300) sur ladite première couche mince (110),
- b) gravure ou lithographie dans ladite seconde couche mince (300), en fonction de la correction souhaitée,
- c) gravure de la première couche mince (110) à travers la seconde couche mince (300).

18. Procédé de correction d'un dessin erroné auquel manque un ou plusieurs motifs ( $M_3$ ) selon la revendication 17, l'étape de lithographie comprenant la reproduction dans ladite seconde couche mince des motifs manquants.

19. Procédé de correction d'un dessin selon l'une des revendications 17 ou 18, comprenant en outre le retrait de la seconde couche mince (300) après l'étape de gravure de la première couche mince (110) à travers seconde couche mince (300).

20. Procédé selon l'une des revendications 1 à 19, la seconde couche mince (300, 700, 900) étant une couche diélectrique.

21. Procédé selon l'une des revendications 1 à 20, la seconde couche mince (300, 700, 900) étant une couche de résine ou polymère.

22. Procédé selon l'une des revendications 1 à 21, la lithographie ou les lithographies étant réalisée(s) par écriture directe.

23. Procédé selon l'une des revendications 1 à 22, la lithographie ou les lithographies étant réalisées à l'aide d'un ou de plusieurs faisceau(x) de particule(s) ou optique(s).

24. Procédé selon la revendication 23, le faisceau ou les faisceaux étant choisi(s) parmi les faisceaux suivants : faisceau d'ions, faisceau d'électrons, faisceau de protons, faisceau de rayons X, faisceau laser, faisceau de rayons UV.

25. Procédé selon la revendication 23 ou 24, le faisceau étant piloté à l'aide d'un dispositif

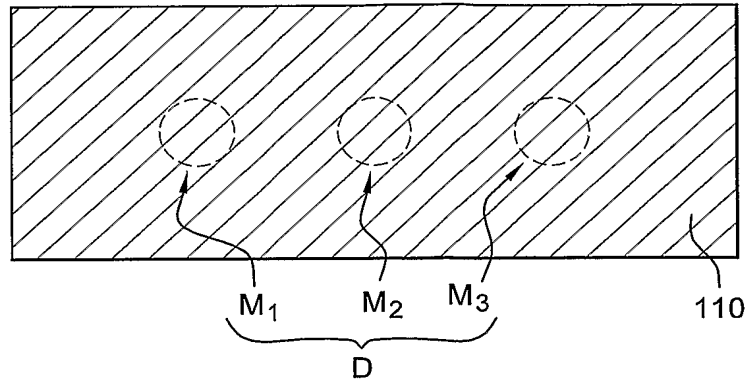


numérique doté d'un support de données comportant des données relatives au dessin erroné et à un dessin corrigé souhaité.

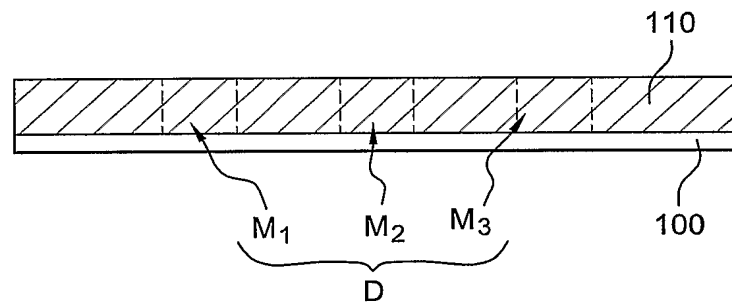
26. dispositif de lithographie apte à  
5 réaliser une ou plusieurs desdites étapes de lithographie du procédé selon l'une des revendications 1 à 25, comprenant :

- des premiers moyens, apte(s) à produire au moins un faisceau de lithographie,
- 10 - des deuxièmes moyens pour traiter des données relatives à un dessin erroné formé dans une couche mince, et des données relatives à un dessin corrigé souhaité, et pour produire suite à ce traitement, des données de correction,
- 15 - des troisièmes moyens pour piloter les premiers moyens, à partir de données de correction produites par les seconds moyens.

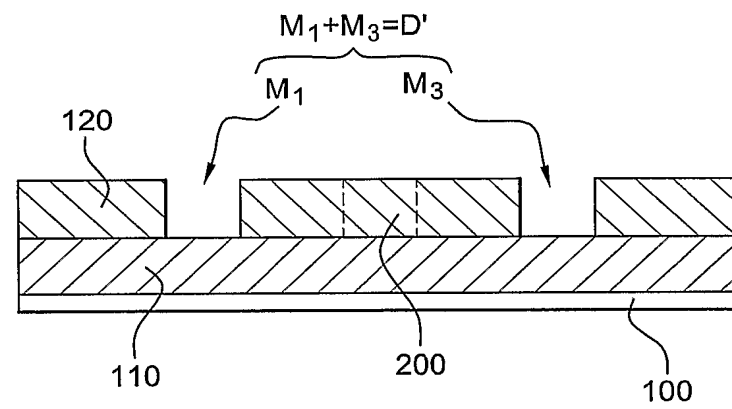
1/7



**Fig. 1A**

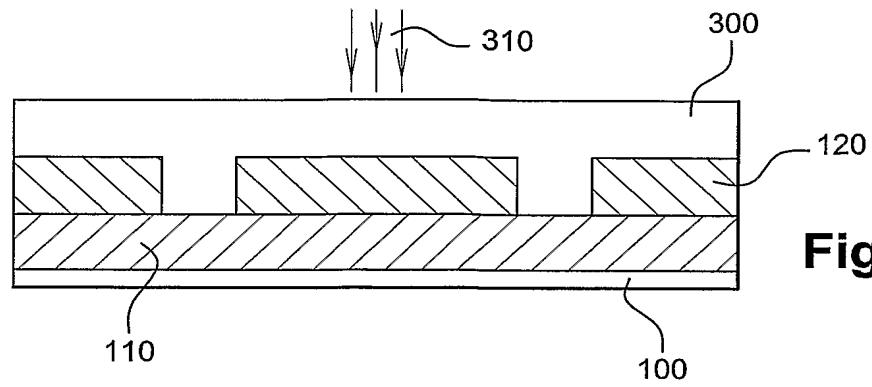


**Fig. 1B**

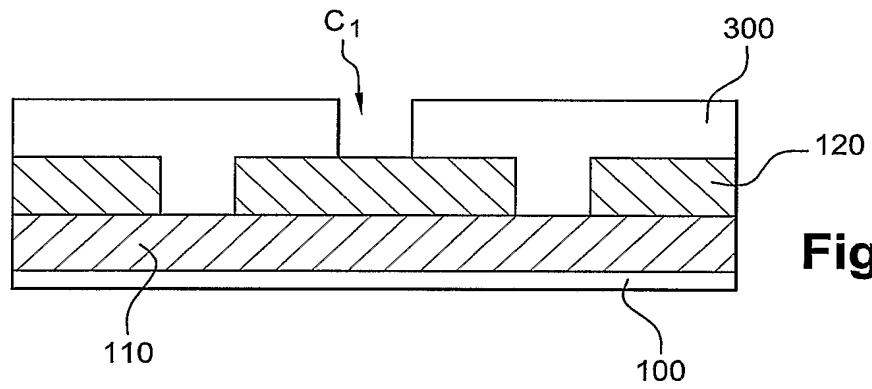


**Fig. 2**

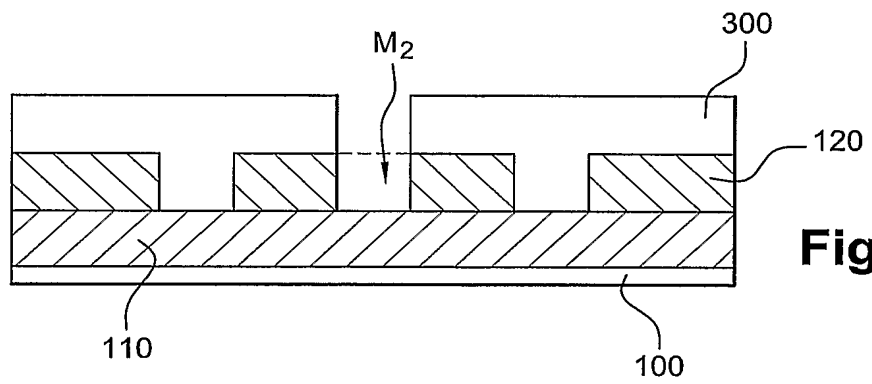
2 / 7



**Fig. 3A**

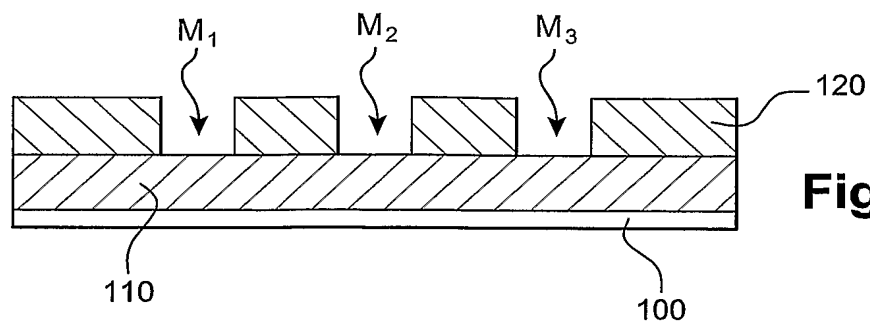
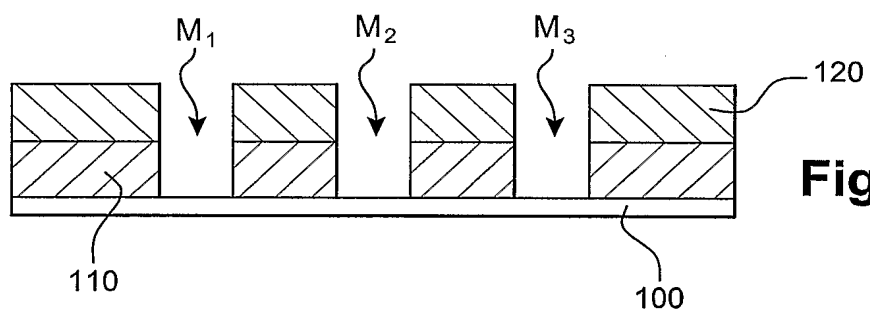
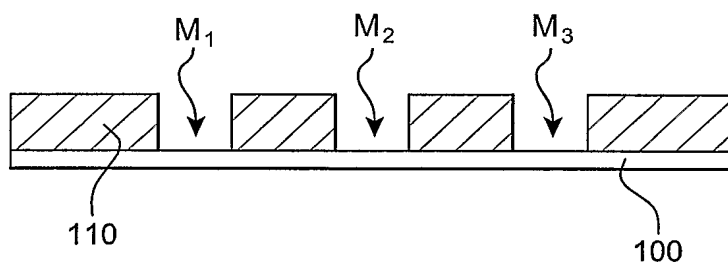


**Fig. 3B**

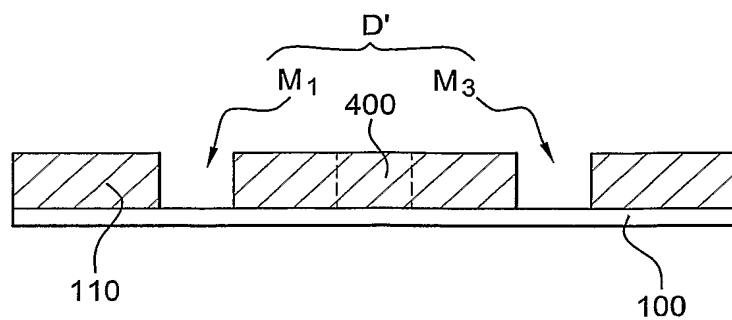


**Fig. 3C**

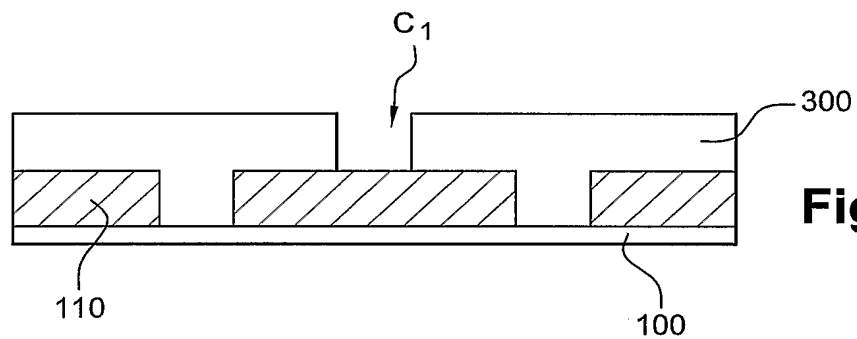
3 / 7

**Fig. 3D****Fig. 3E****Fig. 3F**

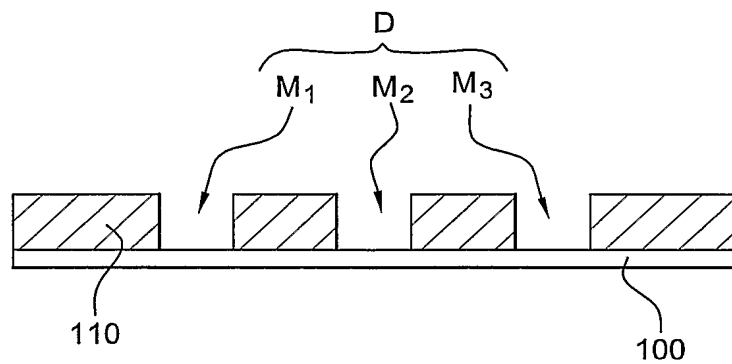
4 / 7



**Fig. 4**

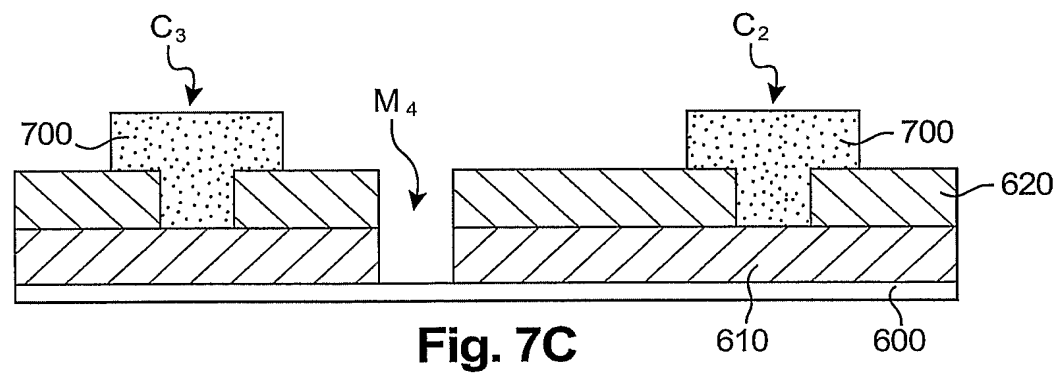
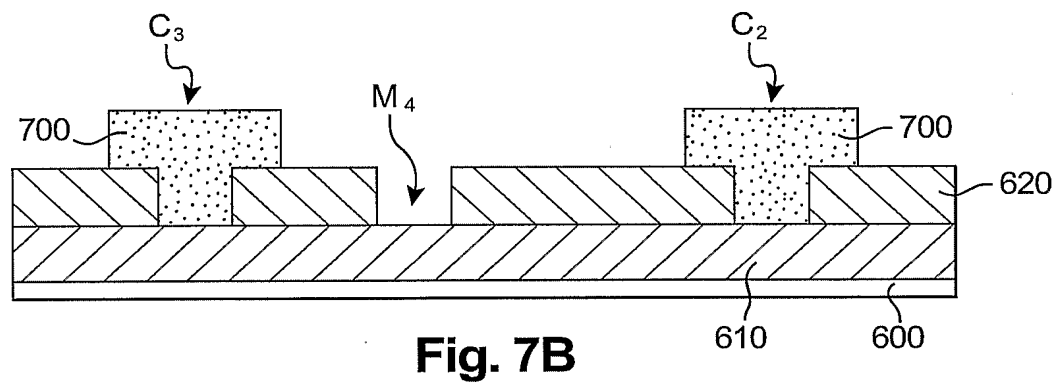
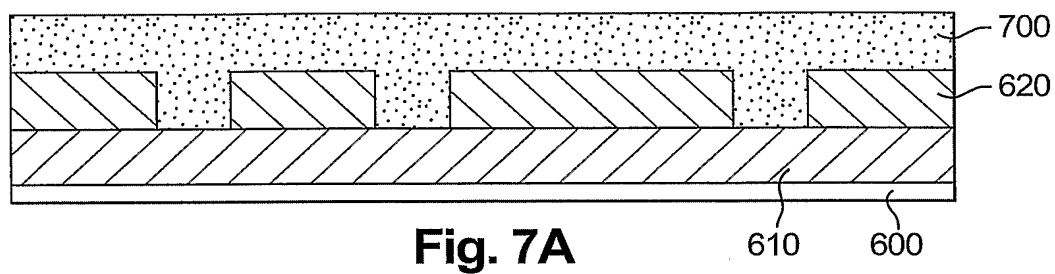
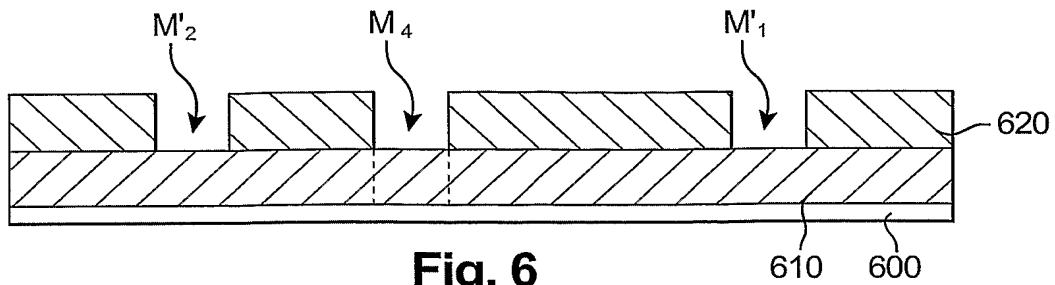


**Fig. 5A**

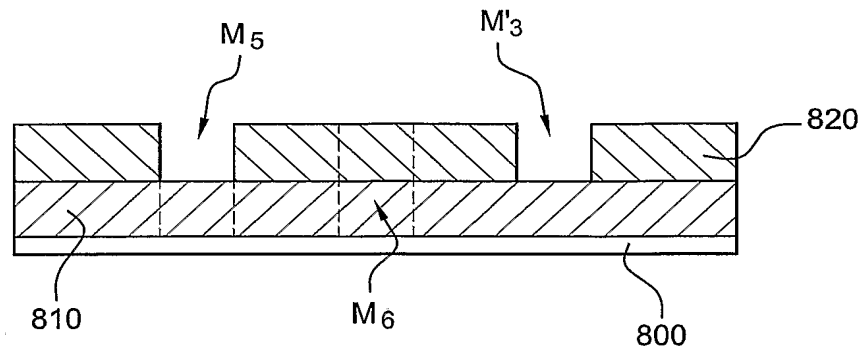


**Fig. 5B**

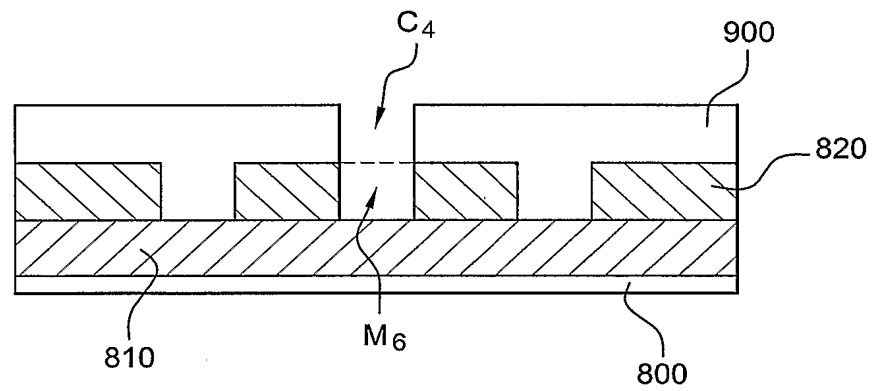
5 / 7



6 / 7

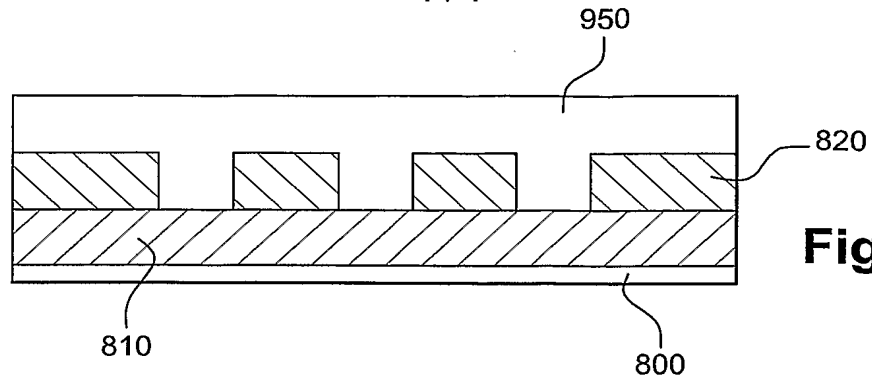


**Fig. 8**

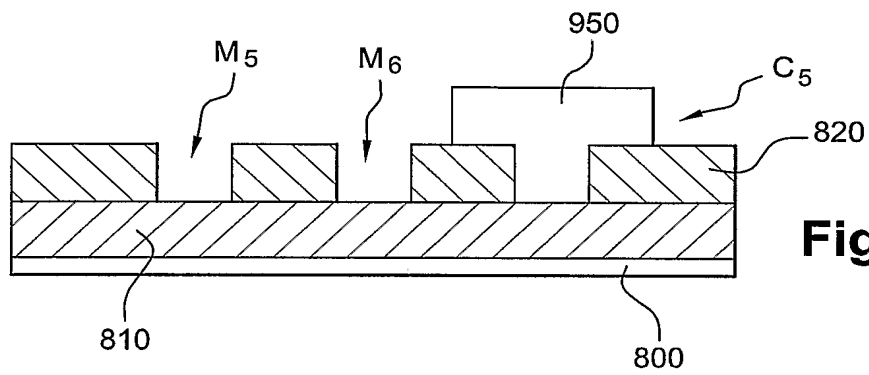


**Fig. 9A**

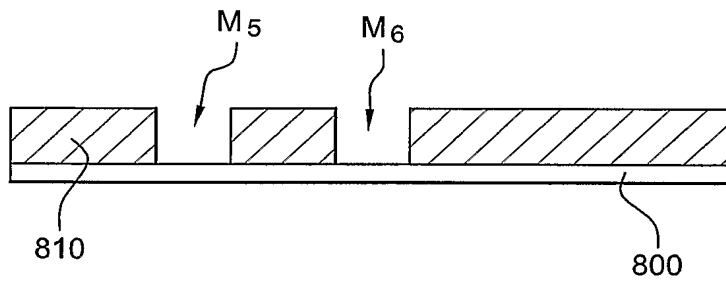
7 / 7



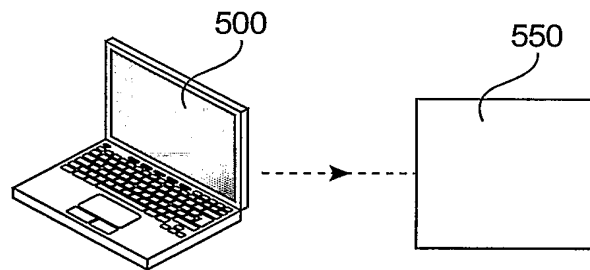
**Fig. 9B**



**Fig. 9C**



**Fig. 9D**



**Fig. 10**